УДК 621.74.041:669.35

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СВИНЦОВООЛОВЯНИСТОЙ БРОНЗЕ

А.В. Корчмит, Ю.П. Егоров

Томский политехнический университет
E-mail: antonvk@mail2000.ru

Рассмотрены вопросы структурообразования свинцовооловянистой бронзы в зависимости от условий кристаллизации отливки, полученной центробежным способом. Обнаружена связь между дисперсностью свинцовых включений и размером зерен матрицы. Установлены зависимости количества и среднего размера свинцовых включений от температуры заливки в различных сечениях отливки.

Многокомпонентные свинцовооловянистые бронзы (МСОБ) применяют для изготовления ответственных деталей компрессоров сжатия этилена (сегментных уплотнений, поршневых колец и др.). Заготовки для них можно изготавливать различными способами литейного производства: литьем в металлические, земляные, оболочковые, песчаные формы, методом центробежного (ЦБ) литья. Для получения плотных отливок с высокими механическими характеристиками наиболее целесообразно применение метода центробежного литья [1].

МСОБ характеризуются широким интервалом кристаллизации, большой разницей в удельных весах компонентов, а главное, отсутствием смешиваемости меди и свинца в твердом виде и ограниченной растворимостью Cu и Pb в жидком состоянии, в связи с чем данные бронзы склонны к ликвации свинца. На образование структуры и свойств отливок из МСОБ, полученных ЦБ литьем, одновременно оказывают влияние ряд технологических факторов, таких как температура заливки (теплосодержание расплава), теплоаккумулирующая способность формы (скорость охлаждения), скорость вращения изложницы, скорость заливки расплава в изложницу, температура изложницы и некоторые другие. Результаты исследований [2–5] показывают, что формирование свойств МСОБ во многом зависит от температуры заливаемого расплава. Однако в предшествующих работах мало внимания уделялось изучению влияния температуры заливки на формирование структурных составляющих МСОБ, которые в конечном итоге определяют их свойства. Особенно противоречивы результаты исследований ряда авторов [6, 7] по влиянию ЦБ литья на распределение в структуре свинцовой составляющей.

Таблица. *Химический состав бронзы БрОСЦН10-13-2-2, % мас.*

Sn	Pb	Zn	Ni	Cu	Раскислитель
9,5...10,0	13,0	2,0	2,0	остальное	0,5

Нами изучалось влияние температуры заливки на размер и распределение свинцовой составляющей в отливках из МСОБ, полученных ЦБ способом. МСОБ получали плавкой в графитовом тигле из технически чистых компонентов. Химический состав бронзы приведен в таблице. Температуру заливки меняли от 950 до 1250 °С с интервалом 50 °С и контролировали быстродействующим оптическим пирометром ТПТ90 с лазерным наведением. Перегретый на 50...80 °С расплав раскисляли фосфористой медью, а затем подстуживали до требуемой температуры и заливали во вращающиеся металлические формы с вертикальной осью вращения при частоте вращения 1000 об/мин. Наружный диаметр получаемых кольцевых отливок – 108 мм; внутренний – 36 мм; высота – 14 мм. Металлографические исследования проводили с применением оптического микроскопа МИМ-8М, цифрового фотоаппарата MDC-1500, и, разработанной на кафедре материаловедения и технологии металлов ТПУ, компьютерной программы обработки изображений "КОИ" [8] для расчета объемной доли и среднего размера частиц структуры. Шлифы вырезали из отлитых колец вдоль оси вращения. Шлифы изучали в двух направлениях: вдоль оси отливки (от периферии к центру) и поперек (от низа отливки до верха), рис. 1. Таким образом, осуществлялось исследование всей площади поперечного сечения отливки, позволяющее выявить закономерности распределения структурных составляющих в разных точках поверхности шлифа.

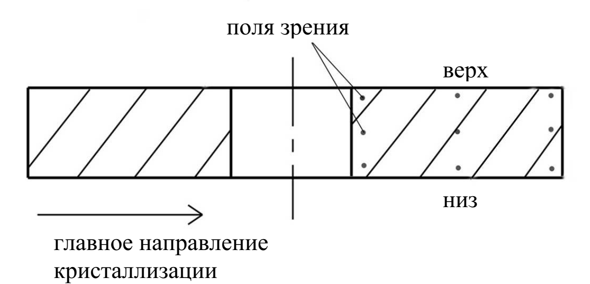


Рис. 1. *Схема исследования образца*

Микроструктура отливок состоит из матрицы α-твердого раствора олова, цинка и никеля в меди, эвтектоида (механической смеси кристаллов химического соединения $Cu_{31}Sn_8$ + α-твердого раствора) и включений свинца (рис. 2).

Количественная оценка объемной доли и размеров свинцовой составляющей проводили на нетравленых шлифах. Свинец представлен в виде темных включений различной дисперсности, имеющих преимущественно округлую либо зубчатую форму. Рассчитывали свинцовую составляющую по трем полям зрения в каждой точке образца.

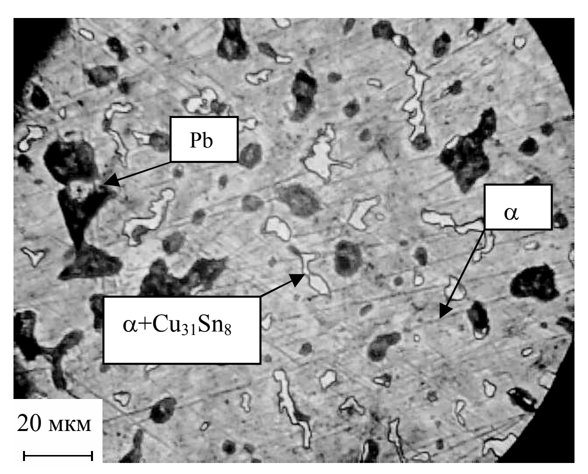


Рис. 2. *Микроструктура пятикомпонентной бронзы*

Проведенный металлографический анализ микроструктур образцов показал заметное различие в их строении в зависимости от температуры заливаемого расплава. При повышении температуры заливки (рис. 3, *а,б*) идет измельчение свинцовой составляющей.

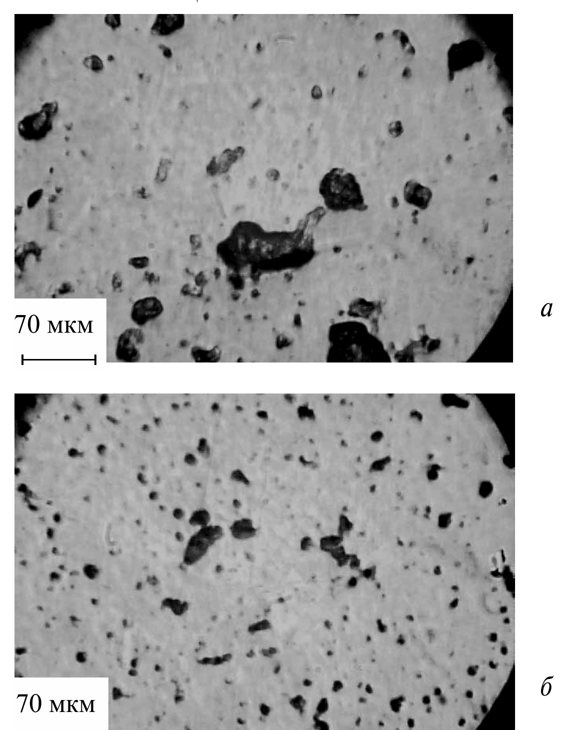
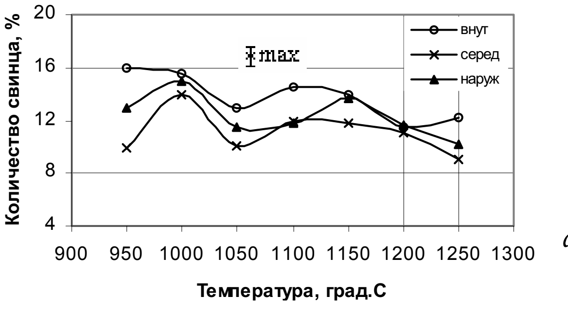


Рис. 3. *Влияние температуры заливки на распределение свинца в ЦБ-литой отливке из МСОБ. Низ формы, заливка при: а) 1000, б) 1250 °С*

Наибольшее количество включений свинца и более крупные частицы наблюдаются во внутренней части отливки при низких (1000 °С) температурах литья (рис. 4, *а,б*).

На рис. 5, *а,б* представлены зависимости объемной доли и среднего размера зерен свинца от температуры заливки, в направлении от внутреннего диаметра отливки к наружному. Практически на всех графиках количество и средний размер свинца уменьшается от края к середине.



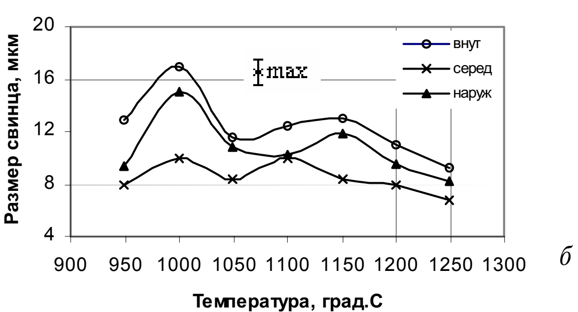
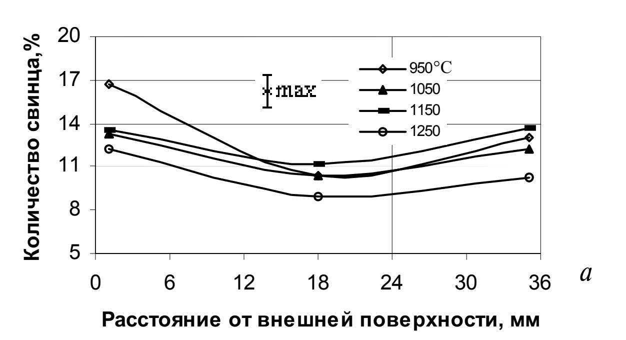


Рис. 4. *Влияние температуры заливки на: а) количество и б) размер включений свинца*



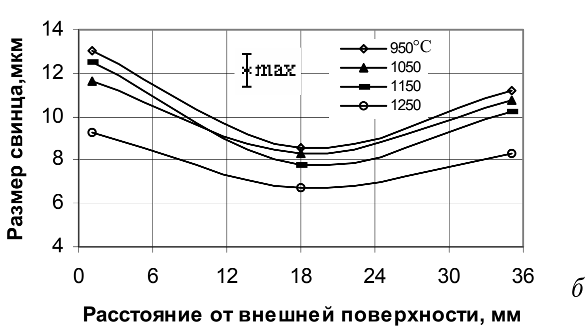
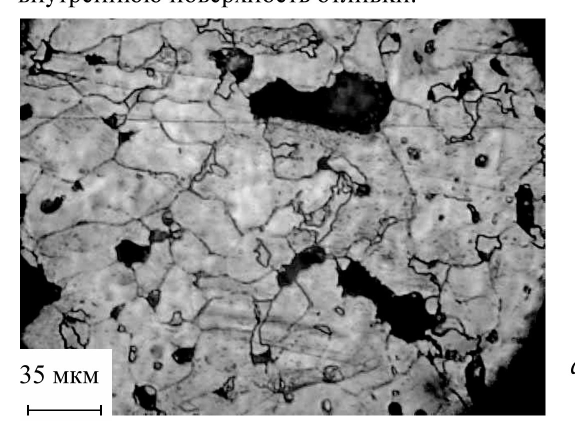


Рис. 5. *Влияние температуры заливки на: а) количество и б) размер включений свинца в различных сечениях отливки*

Уменьшение объемной доли включений свинца в серединной части отливки можно объяснить явлением обратной ликвации, характерной для МСОБ. В начальный момент заливки кристаллизуется наружный слой отливки (корочка). Этот слой кристаллизуется очень быстро, и в нем ликвации свинца практически не наблюдается. Исключение составляет заливка при предельно низкой температуре 950 °С, когда идет расслоение жидкости. Затем, в процессе заполнения формы, количество

свинца уменьшается в середине и доходит до максимума по мере приближения и внутреннему диаметру отливки. Такое перемещение легкоплавкого свинца, имеющего более высокий удельный вес, в направлении, противоположном действию центробежных сил, можно объяснить действием кристаллизационных сил [9]. Кристаллизационные силы развиваются растущими кристаллами α-твердого раствора олова, никеля, цинка в меди, которые по мере роста оттесняют легкоплавкий свинец во внутреннюю поверхность отливки.



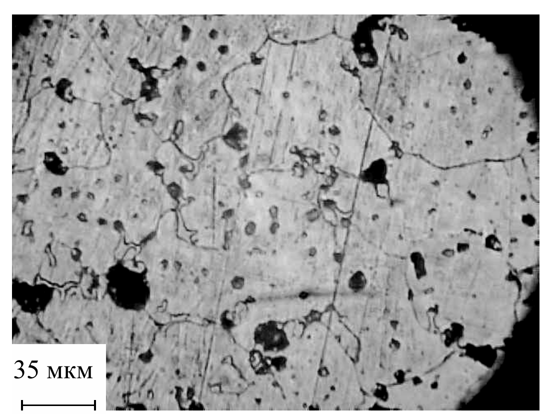


Рис. 6. *Укрупнение зерна матрицы при повышении температуры заливки от: а) 1000 до б) 1250 °С*

Характерной особенностью МСОБ является их склонность к дендритной кристаллизации из-за наличия широкого интервала затвердевания. Кристаллизация многокомпонентных бронз, содержащих свинец, начинается с образования зародышей α-твердого раствора, формирования первичных зерен α-твердого раствора и заканчивается кристаллизацией свинцовой фазы. Поэтому формирование свинцовой фазы при кристаллизации зависит, прежде всего, от формирования зерен α-твердого раствора. Для выявления границ зерен α-фазы шлифы травили 10 %-м раствором $FeCl_3$ в HCl. Как видно из рис. 6, *а,б*, повышение температуры заливки ведет к заметному укрупнению зерен матрицы.

Влияние температуры перегрева на кристаллизацию МСОБ выражается, главным образом, в уменьшении скорости образования центров кристаллизации и укрупнении зерен-кристаллов, получаемых в результате кристаллизации. Перегрев сказывается на кристаллизации зерен матрицы только в присутствии взвешенных в жидкости частиц малорастворимых примесей. Эти частицы служат центрами кристаллизации, т.к. для образования устойчивых кристаллических зародышей на таких "активных" частицах требуется меньшее переохлаждение, чем для самозарождения. В результате перегрева расплава выше температуры дезактивации частицы примесей растворяются или утрачивают свою активность, т.е. теряют способность быть центрами кристаллизации [10]. При низкой температуре заливки частицы свинца выталкиваются растущими дендритами, сталкиваются друг с другом и образуют многозвенные скопления. После затвердевания получается мелкозернистая матрица с крупными, расположенными преимущественно по границам зерен, частицами свинцовой фазы (рис. 6, *а*). При высокой температуре заливки дендриты первичной α-фазы крупнее и разветвленнее. Поэтому, часть жидкости, обогащенной свинцом, не выталкивается, а захватывается по мере роста дендритов, оказывается "зажатой" в межосевых пространствах (рис. 7, *а, б*). Структура после кристаллизации – крупные зерна α-фазы и равномерно распределенные внутри зерна матрицы свинцовые включения (рис. 6, *б*). Этим можно объяснить снижение ликвации свинца по сечению отливки при высоких температурах заливки (рис. 4, *а*). Равномерное распределение свинцовой фазы в виде компактных частиц при высоких температурах заливки должно благоприятно сказаться на механических свойствах МСОБ.

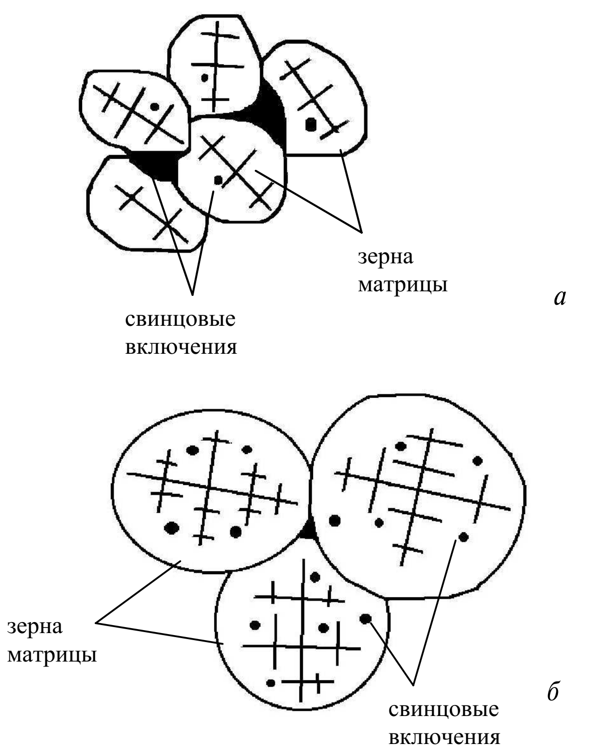


Рис. 7. *Структура, образующаяся при: а) низкой и б) высокой температуре заливки*

Выводы

1. Формирование свинцовой фазы в МСОБ зависит от условий кристаллизации зерен α-фазы: измельчение зерна матрицы приводит к укрупнению свинцовых включений.
2. При повышении температуры заливки от 950 до 1250 °С укрупняются зерна матрицы до трех раз; свинцовые включения измельчаются в 1,5...2,2 раза.
3. Ликвация свинца снижается с увеличением температуры заливки МСОБ в указанном интервале температур при ЦБ литье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сучков Д.И. Медь и ее сплавы. – М.: Металлургия, 1967. – 248 с.
2. Чурсин В.М., Коган Л.Б. Температуры заливки оловянных бронз при изготовлении герметичных отливок // Литейное производство. – 1961. – № 4. – С. 1 4.
3. Чурсин В.М. Условия получения равнопрочных отливок из медных сплавов // Литейное производство. – 1963. – № 9. – С. 6–10.
4. Медведев А.И. Особенности получения герметичных отливок из оловянных бронз типа БрОЦ и БрОЦС: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МВМИ, 1971. – 26 с.
5. Медведев А.И., Чурсин В.М. Получение герметичных отливок из оловянных бронз // Литейное производство. – 1970. – № 8. – С. 14–16.
6. Юдин С.Б., Розенфельд С.Е. О некоторых особенностях кристаллизации центробежных отливок // Литейное производство. – 1959. – № 6. – С. 40–41.
7. Лошкарев Б.И. К вопросу о теории и практике центробежного способа литья // Литейное производство. – 1957. – № 8. – С. 1–6.
8. Свидетельство на ПО 2004610217 РФ. Система компьютерной обработки изображений (система КОИ) / Ю.П. Егоров, Н.В. Мартюшев / Заявлено 24.11.2003; Опубл. 19.01.2004.
9. Лошкарев Б.И. Исследование процесса заливки свинцовистых бронз центробежным способом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1954. – 22 с.
10. Флемингс М. Процессы затвердевания. – М.: Мир, 1977. – 396 с.

УДК 539.3